



Implementasi ZigBee *Transceiver* untuk Akuisisi Data Sensor Inersia pada *Wireless Body Area Network* (WBAN)

Muhammad Ikhsan Sani

D3 Teknik Komputer, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom
Jalan Telekomunikasi, Terusan Buah Batu, Bandung 40257, Indonesia
Email korespondensi: m.ikhsan.sani@tass.telkomuniversity.ac.id

Dikirim 5 Januari 2017, Direvisi 21 Januari 2017, Diterima 1 Februari 2017

Abstrak – Laju pertumbuhan jumlah penduduk yang membutuhkan layanan kesehatan di Indonesia tidak berbanding lurus dengan penambahan jumlah fasilitas kesehatan yang ada. Salah satu solusi alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan mengembangkan teknologi *Wireless Body Area Network* (WBAN) sebagai alat bantu layanan kesehatan. WBAN adalah suatu sistem terpadu yang terdiri atas sekelompok modul sensor yang terdistribusi dan terhubung secara nirkabel pada suatu topologi jaringan tertentu dan berfungsi untuk mengekstrak dan berbagi informasi untuk diolah sesuai bidang aplikasinya. Salah satu aplikasi WBAN adalah untuk analisis gait atau metode untuk mempelajari pola berjalan manusia. Untuk melakukan proses analisis gait secara optimal dibutuhkan instrumen sensor inersia yang terpasang pada tubuh pasien yang merekam data gait dari pasien. Data dari pasien lalu dikirimkan melalui protokol komunikasi nirkabel ZigBee ke *network coordinator* yang berfungsi sebagai pengumpul data. Jaringan memiliki topologi dalam bentuk *star* dengan *data rate* dari sensor sebesar 50 Hz. Data dari *network coordinator* kemudian dibaca pada PC yang telah dilengkapi perangkat lunak pengolah data untuk diolah lebih lanjut. Sistem diuji pada ruangan koridor sejauh 4 meter dengan nilai RSSI atau kuat sinyal bernilai paling kecil sebesar -64 dBm. Dalam hal konsumsi daya, sensor node dapat digunakan secara berkelanjutan dalam jangka waktu 2 jam 25 menit.

Kata kunci – WBAN, ZigBee, Sensor, Inersia, *Network Coordinator*, *Node*

Abstract— The growth of people in Indonesia that demands medical services is not followed by sufficient medical service facilities. For alternative solution, the medical service can be improved significantly by developing *Wireless Body Area Network* (WBAN) as a medical service support tool. *Wireless Body Area Network* (WBAN) is an integrated system that utilized a series of sensor nodes and connected via wireless connection. WBAN is connected using specific network topology and have a function to extract and sent the information from sensor. Among the medical services, gait analysis, a method to analyze human walking pattern, is an important application. Gait analysis is a method to study human motion especially their ability to walk. To do the gait analysis, sensors are used on patient to record gait data. Furthermore, the data are sent using ZigBee protocol via network coordinator as a data collector. Sensor's data are transmitted using ZigBee protocol to network coordinator. The network has a star topology with data rate of 50 Hz. The data are sent by network coordinator to the PC to be processed by software. The system is evaluated in the room corridor with 4 meters long and give a signal strength test result about RSSI -64 dBm minimum. In terms of power consumption, sensor nodes can be used continuously for about 2 hours 25 minutes.

Keywords- WBAN; ZigBee; Sensor; Network Coordinator; Node

I. PENDAHULUAN

Sistem *Wireless Body Area Network* (WBAN) adalah suatu sistem terpadu yang terdiri atas sekelompok node / modul sensor yang terdistribusi dan terhubung secara nirkabel pada suatu topologi jaringan dan berfungsi untuk mengekstrak dan berbagi

informasi untuk diolah sesuai bidang aplikasinya [1] [2]. Pada umumnya, WBAN digunakan untuk aplikasi di bidang kesehatan/ medis tetapi tidak menutup kemungkinan untuk digunakan di bidang lain seperti untuk *game* dan *entertainment*. Aplikasi WBAN yang saat ini digunakan di dunia dibagi ke dalam tiga

kategori [3] [4], yaitu (a) *Entertainment*, contoh aplikasi untuk multimedia dan aplikasi *game*, *video streaming*, transfer data, *motion capture* untuk film animasi, dan lain-lain; (b) Alat bantu bagi orang yang berkebutuhan khusus seperti alat ukur *muscle tension monitor*, *blind*, *speech disability* and *artificial hands*. (c) Aplikasi jaringan sensor untuk kesehatan umumnya digunakan untuk monitoring kondisi fisiologis pasien seperti analisis gait (pergerakan tubuh manusia), denyut jantung, suhu tubuh, kadar gula darah, dan parameter fisiologis lainnya.

Sebuah jaringan WBAN terdiri atas sejumlah sensor *node*, *network coordinator*, dan dapat berhubungan dengan *long range networks* seperti melalui internet atau jaringan seluler [2] [3]. Sensor node dipasang pada beberapa bagian tubuh pasien atau subjek yang membutuhkan pemantauan secara jarak jauh. Setiap sensor node mengumpulkan informasi dari berbagai organ tubuh seperti laju respirasi, kadar gula darah, ECG, gerakan kaki, dan lain-lain. Setiap node kemudian mengirimkan data ke *network coordinator*. [5]

Salah satu aplikasi WBAN adalah untuk mengirimkan data sensor untuk aplikasi analisis gait. Analisis gait adalah analisis gerak jalan makhluk hidup untuk melihat pola gerak. Penelitian oleh [6] menyatakan bahwa analisis gait digunakan oleh dokter sebagai referensi untuk penentuan penanganan terapi rehabilitasi medis. Pada proses analisis gait dibutuhkan suatu alat yang dapat mengolah data parameter gait. Dalam penelitian tersebut, alat yang dibuat adalah berbasis teknologi pengolahan citra digital menggunakan kamera video. Hasil penelitian ini telah memberikan hasil berupa perekaman citra dilakukan dengan meletakkan *marker* pada kaki kanan objek untuk pinggul, lutut, dan mata kaki sebagai acuan dari parameter gait. Akan tetapi, alat dalam penelitian ini membutuhkan ruangan khusus yang masih bergantung oleh kondisi pencahayaan. Sebuah kamera video dengan konfigurasi tertentu harus digunakan untuk merekam objek pada suatu ruangan dengan tata cahaya khusus dari lampu sinar UV 80 watt. Hasil yang maksimal akan sulit didapatkan apabila terjadi perubahan kondisi tata cahaya dan konfigurasi kamera yang berbeda. Oleh karena itu dibutuhkan alternatif lain untuk memberikan hasil yang optimal.

Salah satu alternatif teknologi pendukung analisis gait yang tidak dipengaruhi kondisi lingkungan adalah dengan penggunaan *Inertial Measurement Unit* (IMU) atau *motion sensor* (sensor gerak) yang terdiri atas akselerometer, giroskop, dan magnetometer. Pada penelitian oleh [7], sensor ini dipasang di beberapa titik pergerakan pada kaki pasien seperti pinggul, lutut, dan pergelangan kaki untuk mengukur kinematika pergerakan pasien secara akurat. Sensor inersia dikombinasikan dengan perangkat *transceiver* RF dalam kerangka jaringan sensor nirkabel yang dapat dipakai pada tubuh manusia (*wearable*) yang disebut dengan sensor node.

Penelitian [8] membahas mengenai perancangan dan analisis performa dari WBAN di sebuah rumah sakit untuk sebuah aplikasi monitoring jarak jauh kondisi pasien di ruang gawat darurat. Salah satu hal yang dianalisis adalah performa dari sistem *wireless sensor* khususnya penempatan posisi *transmitter* dan *receiver*, jenis protokol yang digunakan (*Bluetooth*, *WiFi*, dan *ZigBee*) serta kekuatan sinyal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penempatan sensor di berbagai posisi tubuh mempengaruhi kekuatan sinyal atau RSSI (*Received Signal Strength Indicator*). Hal ini tentunya menjadi pertimbangan untuk aplikasi analisis gait.

Pengolahan data sensor umumnya dilakukan dengan perangkat mikrokontroler yang dilengkapi dengan *Analog-to-Digital Converter* (ADC) dan port I/O digital. Salah satu contoh mikrokontroler yang digunakan pada penelitian [9] adalah Atmega128 yang telah dilengkapi oleh delapan buah input ADC dan puluhan port I/O digital. Mikrokontroler ATmega128 dapat menjadi alternatif untuk digunakan pada aplikasi WBAN. Akan tetapi, perangkat ini belum terintegrasi dengan perangkat komunikasi nirkabel sehingga dibutuhkan mikrokontroler alternatif yang telah terintegrasi dengan perangkat komunikasi nirkabel.

Salah satu teknologi pendukung riset WBAN adalah teknologi pengiriman data secara nirkabel atau *wireless*. Saat ini terdapat beberapa standar teknologi *wireless* yang dikhususkan untuk pengiriman data sensor pada *low data rate*. Salah satu standar tersebut adalah ZigBee yang mengacu pada standar IEEE 802.15.4. Standar ini menjelaskan tentang spesifikasi dari suatu sistem komunikasi LR WPAN (*Low Rate Wireless Personal Area Network*) [10]. Topologi jaringan yang didukung ZigBee adalah *peer-to-peer*, *star*, *mesh*, dan *tree*. Untuk aplikasi WBAN yang hanya membutuhkan ukuran program yang kurang dari 8 KB dan dengan jumlah node kurang dari 30 buah, topologi *star* dapat menjadi alternatif dibandingkan dengan topologi lain yang lebih kompleks seperti *mesh* atau *tree*. [11] [12]

Jika dibandingkan dengan teknologi komunikasi nirkabel yang telah ada, ZigBee memiliki beberapa keistimewaan [4] [10] [13] [14]. Beberapa di antaranya dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil tinjauan pustaka dari berbagai sumber, maka ditetapkan beberapa hal yang menjadi fokus dari pelaksanaan penelitian ini, yaitu mengembangkan sistem sensor inersia untuk mengirimkan data gait ke *network coordinator* dalam suatu WBAN, menerapkan protokol komunikasi ZigBee sebagai standar komunikasi nirkabel yang menjadi media pengiriman data, mengembangkan perangkat *network coordinator* sebagai penerima data dari sensor ke laptop, menguji kinerja WBAN dari sisi kekuatan sinyal yang diterima (RSSI) dan konsumsi daya dari sistem sensor.

Tabel 1. Perbandingan Standar Komunikasi Nirkabel.

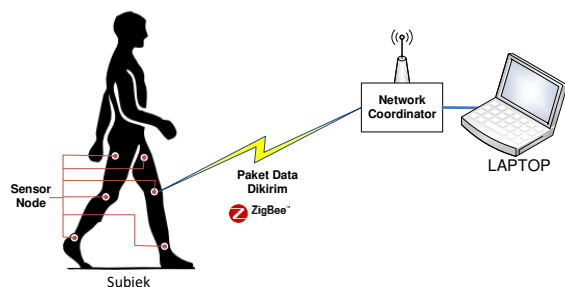
Parameter Perbandingan	ZigBee (802.15.4)	Bluetooth (802.15.1)	WiFi (802.11)
Aplikasi umum	Pengendalian dan pemantauan	Cable replacement dalam pertukaran data pada perangkat <i>handheld</i>	Web, email, video
Kebutuhan <i>resources</i>	4 – 32 KB	> 250 KB	> 1 MB
Battery life (hari)	100 – 1000	1 – 7	0.5 – 5
Ukuran network/jumlah node yang didukung	2 ¹⁶ (65536)	7	32
Kecepatan transfer data maksimum (Kbps)	20 - 250 Kbps	720 Kbps	11.000 Kbps
Jarak jangkau maksimum	100 m	10 m	100 m
<i>Success metrics</i>	<i>Reliability, power, cost</i>	<i>Cost, convenience</i>	<i>Speed, flexibility</i>

II. METODE PENELITIAN

Pada tahap ini ditentukan spesifikasi mengenai sistem yang akan dirancang untuk memenuhi tujuan dari penelitian ini.

A. Perancangan Sistem

Pada tahap ini sistem dirancang secara menyeluruh mulai dari perancangan sub sistem, komponen, dan protokol komunikasi internal maupun eksternal. Penerapan dari sistem yang telah ditentukan spesifikasinya dan dirancang sistemnya, meliputi *software* dan interkoneksi *hardware*. Diagram blok sistem dapat dilihat pada Gambar 1.



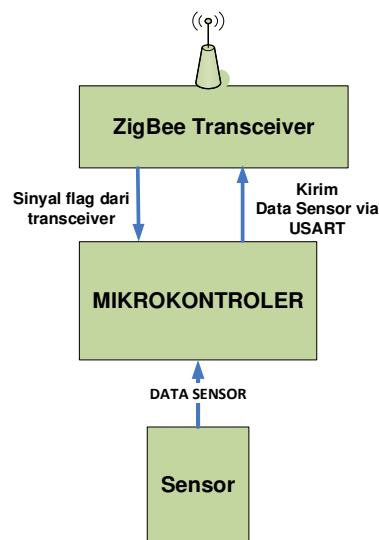
Gambar 1. Desain Sistem.

Sistem terdiri atas beberapa bagian, dengan masing-masing bagian meliputi.

- implementasi sensor node untuk diletakkan pada kaki pasien (pinggul, lutut, dan mata kaki) dengan menggunakan protokol ZigBee untuk media komunikasi nirkabel,
- implementasi *network coordinator* yang berperan untuk mengumpulkan data dari sensor node dan meneruskannya kepada PC penyimpan dan pengolah data, dan
- implementasi perangkat lunak pengolah data.

B. Pengembangan Perangkat Sensor Node

Perangkat *sensor node* dikembangkan sebagai komponen pengirim data dari subjek ke *network coordinator*. *Sensor node* terdiri atas empat bagian utama, yaitu sensor inersia, mikrokontroler, dan perangkat ZigBee *transceiver* sebagai media pengiriman data. Diagram blok dari sub sistem *sensor node* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Blok Sensor Node.

Bagian-bagian dari *sensor node* dijelaskan sebagai berikut.

a) Sensor Inersia.

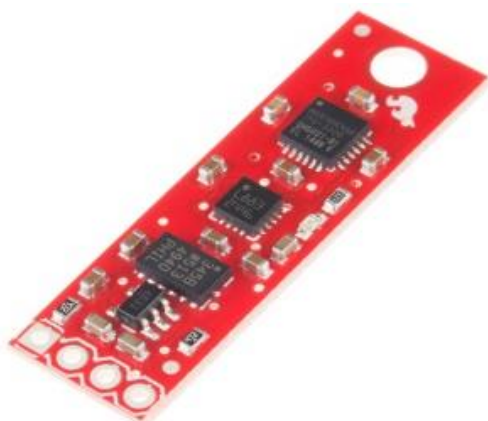
Sensor inersia terdiri atas tiga perangkat yang berfungsi untuk memberikan kecepatan sudut (giroskop), percepatan angular (akselerometer), dan arah mata angin (magnetometer).

Dalam penelitian ini hanya akan digunakan dua perangkat, yaitu akselerometer dan giroskop. Spesifikasi dari sensor ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Sensor Inersia.

Spesifikasi	Akselerometer	Gyroscope
Tipe	ADXL345	ITG3200
Antarmuka	I2C atau SPI	I2C atau SPI
Keluaran	Percepatan relatif	kecepatan angular
Satuan keluaran	G	°/s
Range Keluaran	±2g - ±16g	±2000 °/s
Analog/digital	digital	digital
resolusi ADC	Up to 13 bit	16 bit
Suplai tegangan	2.0 – 3.6 V	2.1 – 3.6 V
Konsumsi Arus	0.1 uA	5uA
Ukuran chip	3x5x1 mm	4x4x0.9 mm
Produsen	Analog devices	InvenSense

Modul ini dipilih karena beberapa alasan yang dijelaskan sebagai berikut (1) Dalam satu sensor telah terintegrasi antara akselerometer dan giroskop dan juga (2) Berukuran relatif kecil, sehingga ukuran sensor node secara keseluruhan dapat diminimalkan. (3) Membutuhkan catu daya yang relatif rendah serta mempunyai konsumsi daya yang relatif rendah, sehingga mampu meningkatkan masa pakai baterai. (4) Spesifikasi tiap jenis sensor memenuhi kriteria untuk analisis gait yang dibutuhkan.



Gambar 3. Sensor Inersia [15].

b) Mikrokontroler.

Mikrokontroler yang dipilih untuk digunakan pada sensor node ini adalah ATmega328 yang memiliki dukungan I2C dan ukurannya relatif kecil. Dalam komunikasi I2C, *master* (mikrokontroler) cukup memanggil alamat komponen dan register data yang ingin diakses. Selanjutnya sensor dengan alamat komponen yang bersesuaian akan mengeluarkan nilai register yang diinginkan. Berikut daftar alamat komponen dan alamat *register* data yang diakses pada sistem ini pada Tabel 3.

Tabel 3. Daftar Alamat Devais Dan Data Register Akses.

Sensor	Akselerometer	Gyroscope
Komponen	ADXL345	ITG3200
Alamat devais (8 bit)	0xA6	0xD2
Data register	0x32-0x37	0x1D-0x22
Jenis data	Percepatan relatif	Kecepatan angular
Sumbu	x, y, z	yaw, pitch, roll

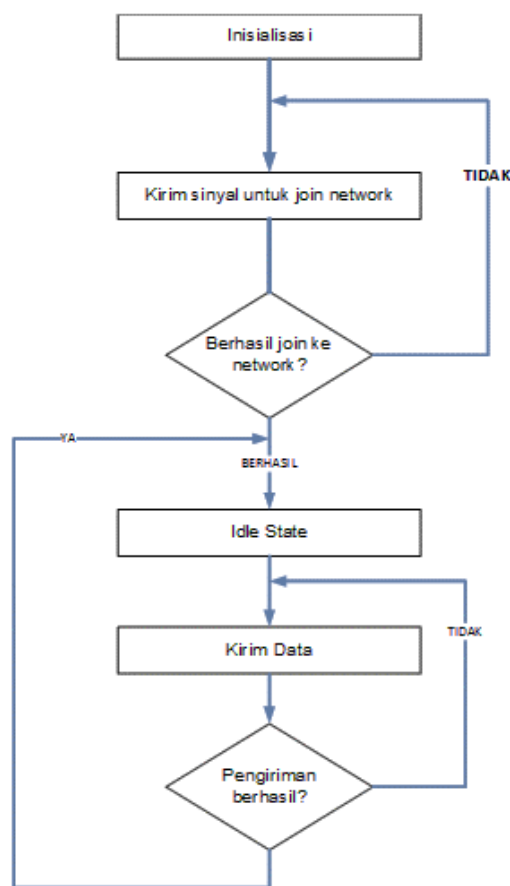
c) ZigBee Transceiver

Modul ini dibutuhkan untuk mengirim data menggunakan sinyal *radio frequency* (RF) yang aman beroperasi pada area tubuh manusia. CC2431 *Evaluation Module* (CC2431EM) buatan Texas Instruments digunakan sebagai modul RF *Transceiver* untuk mengirimkan sinyal ke *network coordinator*. CC2431EM merupakan sebuah modul yang terdiri dari *chip* CC2431, yang terdiri atas *transceiver* nirkabel dan mikrokontroler berbasis 8051, dan juga sistem minimumnya, seperti osilator, kapasitor, dan antena. Spesifikasi modul ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi Modul Zigbee

No	Parameter	Nilai
1.	Tegangan <i>Supply</i>	1,8 – 3,6 V
2.	Konsumsi arus	mA (mode Tx, keluaran 10 dBm) mA (mode Rx)
3.	Frekuensi Kerja	2400 MHz
4.	Daya keluaran	-30 dBm min, +10 dBm maks
5.	Sensitivitas Penerima	-102 dBm
6.	Modulasi	Q-PSK
7.	Data Masukan	TX / RX FIFO Buffer
8.	Pola radiasi antena	<i>omnidirectional</i>

Agar *sensor node* dapat membaca data dari sensor dan kemudian mengirimkan data tersebut ke *network coordinator*, dibutuhkan perangkat lunak *firmware* yang perlu diprogram pada mikrokontroler. Diagram alir dari program ini dapat dilihat pada Gambar 4. Ketika *sensor node* diaktifkan, program akan mengirimkan sinyal bahwa terdapat kanal frekuensi yang digunakan oleh *network coordinator* lalu melakukan *join* terhadap kanal tersebut. Setelah sensor node bergabung dalam jaringan, *sensor node* akan masuk ke dalam *loop* untuk mengirimkan data secara terus menerus kepada *network coordinator* sampai jaringan diterminasi. Ketika *network coordinator* diaktifkan, program akan menginisialisasi mikrokontroler, modul *wireless transceiver*, dan membentuk jaringan.



Gambar 4. Diagram Alir Firmware Pada Sensor Node

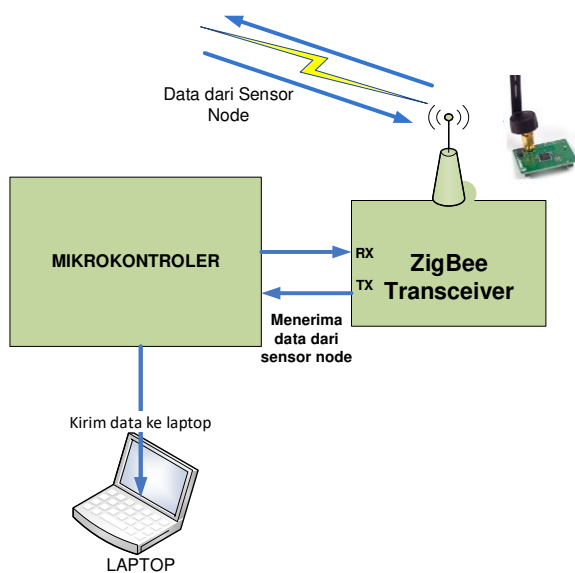
Ketika *coordinator* diaktifkan, program akan melakukan inisialisasi mikrokontroler, modul *wireless transceiver* dan membentuk jaringan. Tiap *payload data* berisi 30 byte, yaitu Node ID (1 byte), indeks (2 byte), data akselerometer (2 byte per axis, sehingga total 6 byte), giroskop (2 byte per axis, sehingga total 6 byte), *reserved byte* untuk pengembangan lanjutan (3 byte), dan *end packet flag* (6 byte) sebagai penanda akhir tiap paket agar tidak terjadi kerancuan antar paket ketika direkonstruksi di sisi *network coordinator*.



Gambar 5. Hasil Implementasi Sensor Node

C. Pengembangan Perangkat Network Coordinator

Perangkat *network coordinator* merupakan subsistem yang berfungsi mengumpulkan data yang berasal dari *sensor node*. Mode *beaconing* yang digunakan dalam perancangan *network coordinator* ini adalah *non-beacon enabled networks*. Hal ini berarti bahwa *network coordinator* akan selalu aktif dan selalu dalam mode *receive*.



Gambar 6. Diagram Blok Network Coordinator

Diagram blok *network coordinator* dapat dilihat pada Gambar 6. Sama seperti dengan *sensor node*, modul ZigBee yang digunakan adalah CC2431EM buatan Texas Instruments. Untuk *network coordinator*, pengaturan pin pada modul ini untuk *input* dan *output* adalah sebagai berikut, RX sebagai pin penerima input komunikasi serial, diarahkan pada port 0, pin 2. TX sebagai pin pengirim komunikasi serial, diarahkan

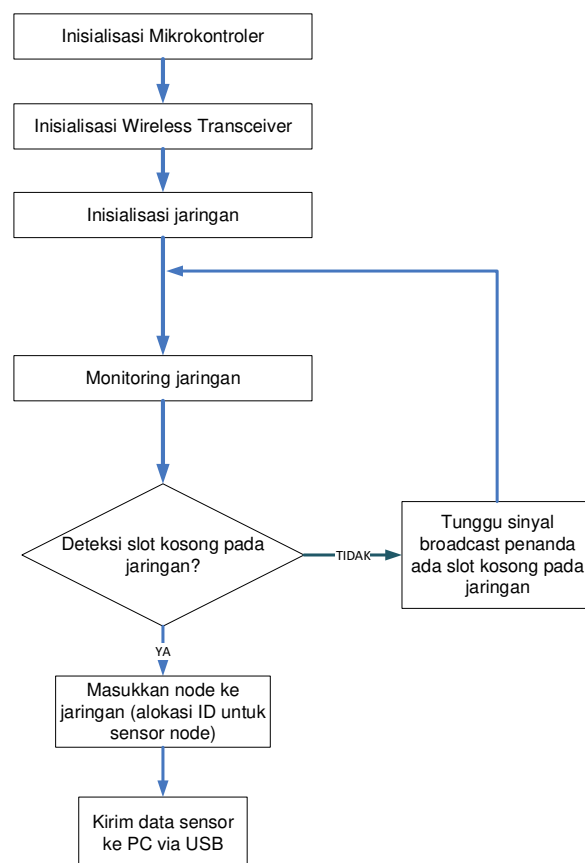
pada port 0, pin 3. Modul ZigBee CC2431 dan SmartRF04 dari Texas Instrument digunakan untuk implementasi *network coordinator*.



Gambar 7. Perangkat Network Coordinator.

Diagram alir dari program *network coordinator* dapat dilihat pada Gambar 8. Program ini memiliki spesifikasi dari *network coordinator* ditentukan sebagai berikut.

- Menerima data dari sensor node.
- Pengiriman data menggunakan koneksi via protocol ZigBee
- Inisiasi dan terminasi jaringan,
- Memasukkan node baru ke dalam jaringan,
- Monitoring node yang terdaftar dalam jaringan,

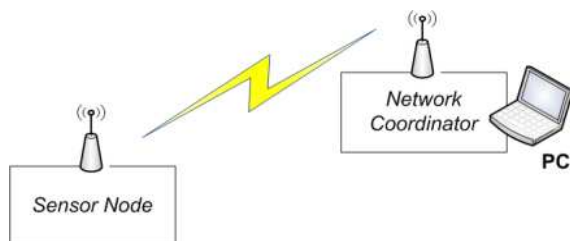


Gambar 8. Diagram Alir Firmware Pada Network Coordinator.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor Inersia

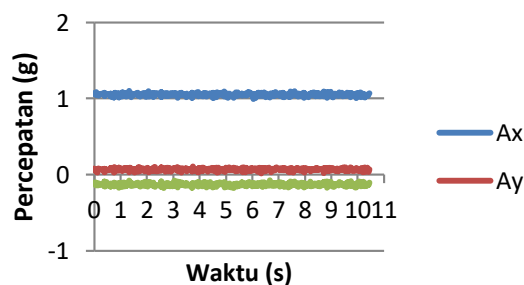
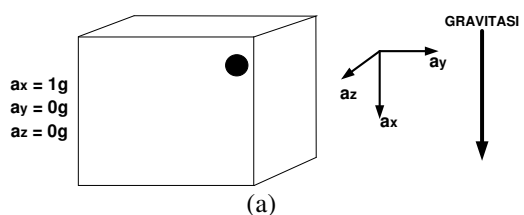
Sensor inersia merupakan sensor yang sensitif terhadap perubahan percepatan gravitasi sehingga sumbu sensor harus dikalibrasi terhadap arah gravitasi. Prosedur pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan *sensor node* dengan *network coordinator* dan laptop seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Skema Pengujian *Sensor Node*.

Pengujian dilakukan dengan cara menempatkan modul sensor pada posisi tertentu kemudian nilai keluaran yang dihasilkan oleh sensor diamati pada laptop. Pada kondisi ideal, seharusnya setiap sumbu sensor akan memberikan nilai sekitar $1g$ ($9,8 \text{ m/s}^2$) jika diarahkan sejajar dengan gaya gravitasi bumi.

Hasil pengujian untuk kalibrasi sensor pada sumbu X (Gambar 10) memberikan nilai rata-rata keluaran akselerometer untuk sumbu X sebesar $1,0495 \text{ g}$. Mempunyai error $0,0495 \text{ g}$ dari nilai seharusnya. Sementara simpangan maksimum yang terjadi adalah $0,013776 \text{ g}$. Nilai simpangan terbesar dari akselerometer adalah pada sumbu Z pada *node 2*, yaitu sebesar $0,03625$. Sementara untuk sensor giroskop, simpangan terbesar terjadi pada sumbu X *node 2*.

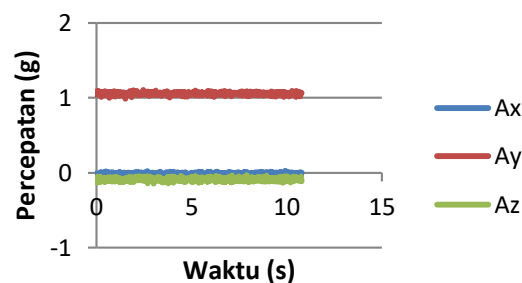
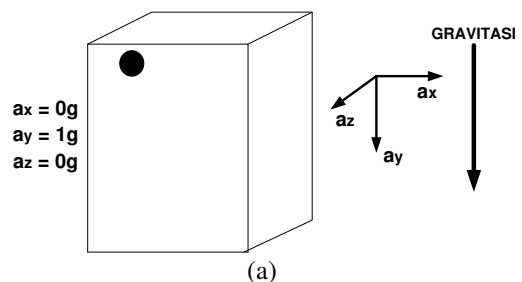


(b)

Gambar 10. (a) Posisi Sensor Terhadap Arah Gravitasi (b) Kalibrasi Sumbu X Sensor Terhadap Arah Gravitasi.

Pada Gambar 11 ditunjukkan hasil pengujian untuk kalibrasi sensor pada sumbu Y yang memberikan nilai rata-rata keluaran akselerometer untuk sumbu Y sebesar $1,0348 \text{ g}$. Sementara simpangan maksimum yang terjadi adalah $0,053177 \text{ g}$. Nilai simpangan terbesar dari akselerometer adalah pada sumbu X pada

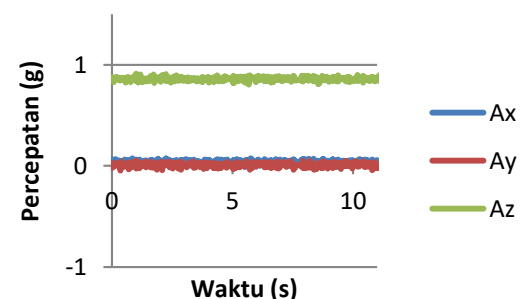
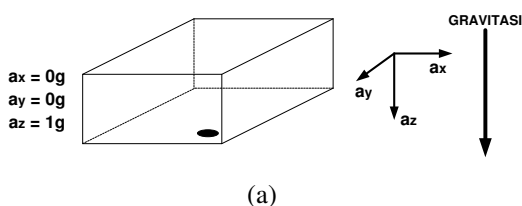
node 2, yaitu sebesar $0,03625$. Sementara untuk sensor giroskop, simpangan terbesar terjadi pada sumbu X *node*.



(b)

Gambar 11. (a) Posisi Sensor Terhadap Arah Gravitasi (b) Kalibrasi Sumbu Y Sensor Terhadap Arah Gravitasi.

Pada Gambar 12, rata-rata nilai keluaran akselerometer untuk sumbu Z sebesar $0,90148 \text{ g}$. Mempunyai error $0,09852 \text{ g}$ dari nilai seharusnya. Sementara simpangan maksimum yang terjadi adalah $0,056953 \text{ g}$. Nilai simpangan terbesar dari akselerometer adalah pada sumbu X pada *node 1*, yaitu sebesar $0,03625 \text{ g}$.



(b)

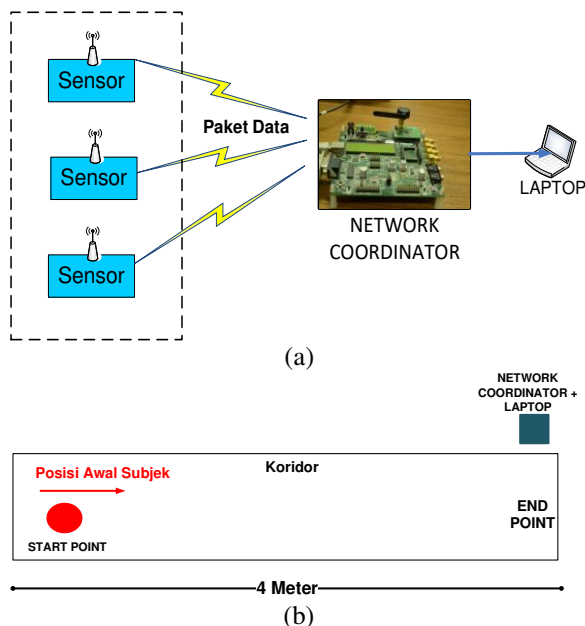
Gambar 12. (a) Posisi Sensor Terhadap Arah Gravitasi (b) Kalibrasi Sumbu Z Sensor Terhadap Arah Gravitasi.

Dari ketiga hasil pengujian terdapat simpangan nilai pada setiap *sensor node*, namun *error* yang dihasilkan masih dapat ditoleransi untuk aplikasi analisis gait dengan subjek manusia normal. Terjadinya simpangan ini kemungkinan diakibatkan oleh *misalignment error* yaitu disebabkan posisi

modul sensor yang tidak tepat tegak lurus pada PCB. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan bahwa nilai terbesar dari simpangan yang didapat adalah 0.145 g untuk akselerometer dan 9.134 °/s untuk giroskop. Nilai ini dapat dikurangi dengan melakukan penyesuaian untuk nilai *offset* pada masing-masing sensor.

B. Pengujian Jarak Sensor Node – Network Coordinator Terhadap Kuat Sinyal RSSI

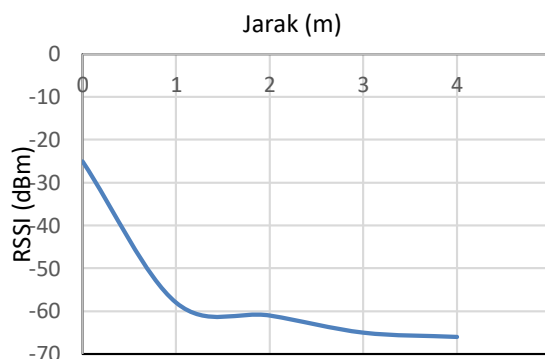
Pada tahap ini dilakukan pengujian sistem untuk mengevaluasi fungsi pengiriman *sensor node* dan penerimaan data *network coordinator*. Sensor yang digunakan dalam pengujian ini ada tiga buah dan terhubung ke *network coordinator* dengan topologi *star*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap kinerja kuat sinyal yang diterima atau *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) oleh *network coordinator*, dilakukan pengujian pada lorong sepanjang kurang lebih empat meter seperti yang dapat dilihat pada Gambar 13b. *Data rate* yang digunakan pada pengujian ini adalah 50 Hz (standar *default data rate* perangkat).



Gambar 13 (a) Skema Pengujian RSSI (b) *Layout* Ruang Pengujian.

Sensor dihubungkan secara *wireless* dengan *network coordinator* lalu digerakan secara perlahan menjauh dari *network coordinator*.

Grafik pada Gambar 14 menunjukkan bahwa pada jarak terjauh antara transmitter dengan receiver (4 meter), nilai RSSI masih bernilai 60-70 dBm. Data tetap dapat diterima oleh receiver. Oleh karena itu, system dapat digunakan dalam ruangan ruang berbentuk koridor.



Gambar 14. Grafik Pengujian Jarak vs RSSI.

C. Pengujian Konsumsi Daya Sensor Node

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan informasi durasi maksimum penggunaan baterai dari *sensor node*. Program Texas Instrument *Packet Sniffer* digunakan untuk mengamati data keluaran sensor dan juga bertindak sebagai timer.



Gambar 15. Skema Pengujian Konsumsi Daya Sensor Node.

Pengujian ini dilakukan dengan cara mengaktifkan setiap *sensor node* dan data dikirimkan secara terus menerus ke PC hingga sensor node mulai kehilangan daya untuk mengirimkan data. Gejala kehilangan daya dapat diamati dengan cara melihat tampilan program seperti pada Gambar 16. Warna merah menunjukkan bahwa *network coordinator* menerima data yang tidak valid dari *sensor node*.

Device Info			Application payload	Link			
Rec.Type	Send.Type	HCount	01 65 EF BE AD	App.Info Token	Local_Port	Link_num.	RX_Type
CONT_LISTEN	END_DEVICE	03	DE 3D 00 02	0x01	0xADBEEF65	0xDE	0x3D CONT_LISTEN

Device Info			Application payload	Link			
Rec.Type	Send.Type	HCount	81 65	App.Info	Acc.Token	RX_Type	
CONT_LISTEN	ACCESS_POINT	00	20 00	0x81	0x65	CONT_LISTEN	

P.nbr.	Time (us)	Length	Misc			
446671	+19200	46	Type	Sec	End	Seq.num
	=8679821897		DATA	0	0	0x3D

P.nbr.	Time (us)	Length	Misc			
446672	+19210	46	Type	Sec	End	Seq.num
	=8679821897		DATA	0	0	0x3E

Gambar 16. Tampilan Program Texas Instrument *Packet Sniffer* Pada Pengujian Konsumsi Daya.

Pada pengujian ini didapatkan hasil berikut, pada detik ke-8679 (2 jam 25 menit), sensor tidak dapat melakukan join link ke *network coordinator* sehingga program *Packet Sniffer* akan menampilkan peringatan.

Pada saat yang bersamaan LED *power indicator* pada sensor node mulai berkedip. Hal ini mengindikasikan bahwa daya baterai tidak mampu mencatu sensor node.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan tahap perancangan, pembuatan, dan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan bahwa sistem WBAN telah berhasil dikembangkan untuk analisis gait yang telah terintegrasi yang bekerja dalam topologi *star* dengan data rate minimum 50 Hz, pada jarak empat meter data masih dapat diterima dan nilai RSSI atau kuat sinyal bernilai -64 dBm, sensor node dapat digunakan secara berkelanjutan dalam jangka waktu sekitar 2 jam 25 menit.

B. Saran

Sistem dapat dilengkapi dengan perangkat protokol Wi-Fi agar mampu terhubung jaringan internet sehingga proses analisis gait jarak jauh dapat dimungkinkan. Ukuran dari modul sensor yang akan dipakai pada tubuh pasien harus memperhatikan kenyamanan dari pasien sehingga pasien dapat bergerak secara alami. Oleh karena itu, dalam pengembangan selanjutnya, penggunaan komponen jenis *Surface Mount Device* (SMD) dan desain kemasan baru dapat dilakukan agar node sensor memiliki ukuran yang lebih kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.S. Appadurai and K.R. Deepak, "Performance Analysis of ZigBee and OWC in Wireless Body Area Network," *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE)*, vol. 5, no. 3, pp. 565-567, 2016.
- [2] A.W. Astrin, Huan-Bang Li, and Ryuji Kohno, "Standardization for Body Area Networks," *IEICE Transactions on Communications*, vol. E92-B, no. 2, pp. 366-371, 2009.
- [3] Samaneh Movasaghi, M Abolhasan, J Lipman, D Smith, and A Jamalipour, "Wireless Body Area Networks : A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 3, pp. 1658-1686, 2014.
- [4] A.O. Isikman, L Cazalon, F Chen, and P Li, "Body Area Networks," *Mobile Networks and Applications Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 171-193, 2011.
- [5] B Latre, B Braem, I Moerman, C Blondia, and P Demeester, "A survey on Wireless Body Area Networks," *Wireless Network*, vol. 17, pp. 1-18, 2011.
- [6] D. Ariano and A. Harjoko, "Sistem Pendeteksian Marker pada Analisis Gait Menggunakan Pengolahan Citra Digital," *Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems (IJEIS)*, vol. 3, no. 2, pp. 137-146, 2013.
- [7] W Tao, T Liu, R Zheng, and H Feng, "Gait Analysis Using Wearable Sensors," *Sensors*, vol. 12, pp. 2255-2283, 2012.
- [8] Erik Aguirre and et al., "Design and Performance Analysis of Wireless Body Area Networks in Complex Indoor e-Health Hospital Environment for Patient Remote Monitoring," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 12, no. 9, 2016.
- [9] S. Pramono, E. Wahyudi, and L.H. Lukmana, "Web Server Berbasis ATmega 128 untuk Monitoring dan Kontrol Peralatan Rumah," *J. INFOTEL*, vol. 7, no. 1, pp. 61-68, 2015.
- [10] G Shi and K Li, "Fundamental of ZigBee and WiFi," in *Signal Interference in WiFi and ZigBee Network*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2017, pp. 9-27.
- [11] L Skrzypczak, D Grimaldi, and R Rak, "Basic Characteristics of Zigbee and Simpliciti Modules to Use in Measurement Systems," in *XIX IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology*, Lisbon, 2009, pp. 1456-1460.
- [12] Larry Friedman, *SimpliciTI: Simple Modular RF Network*, 1st ed. San Diego, United States of America: Texas Instruments, Inc., 2009.
- [13] M. Ghamari et al., "A Survey on Wireless Body Area Networks for eHealthcare Systems in Residential Environments," *Sensors*, vol. 16, no. 6, pp. 1-33, 2016.
- [14] J.S. Lee, Y.W. Su, and C.C. Shen, "A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWM, ZigBee, and Wi-Fi," in *33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON) 2007*, Taipei, 2007.
- [15] SparkFun 9 Degrees of Freedom - Sensor Stick. 2013. [Online].
<https://www.sparkfun.com/products/retired/10724>